

난류모형에 따른 유류-유사분리기내에서의 흐름해석

Numerical Analysis of the Turbulent Flow through an Oil-Grit Separator according to Turbulent Models

이진우*, 유제선**, 조용식***

Jin Woo Lee, Je Seon Yoo, Yong-Sik Cho

요 지

본 연구에서는 상용 3차원 수치모형 코드인 FLOW-3D를 이용하여 난류모형에 따른 유류-유사 분리기 내에서 유체의 흐름거동을 해석하였다. 우수로 인해 발생한 유출수는 유류, 유사 및 쓰레기 등을 포함하고 있기 때문에 3차원적 거동을 하고 다양한 흐름특성을 갖는다. 유류-유사 분리기는 도심지의 지하구조물로서 이러한 유출수의 수질을 개선하여 하천이나 강으로 흘려보내는 기능을 갖는다. 분리기내에서의 복잡한 흐름 거동을 해석하기위해 정류판과 유류흡착기로 구성된 유류-유사분리기를 제작하여 수치모의를 실시하였다. 유류-유사분리기로 유입되는 유입수에 포함된 유사는 유체의 흐름이 분리기내에 설치되어있는 정류판을 지나면서 여과되도록 하였고 유사와 함께 유입수에 포함된 유류는 유류흡착기를 통해 여과되도록 하였다. 기존의 수리실험 결과와 수치모의를 통한 연구결과에서 유입수에 포함된 유사와 유류는 유류흡착기를 설치하였을 경우 유사와 유류의 분류활동이 더 활발하게 이루어지는 것을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구에서는 유사와 유류의 포획률을 증가시키기 위한 단계로서 유류-유사분리기에 유류흡착기를 설치하고 분리기내의 복잡한 흐름을 각각의 난류모형을 이용하여 비교분석하였다. 수치모의는 $k-\epsilon$ 모형과 LES(Large Eddy Simulation) 모형의 두가지 난류모형을 사용하였고, FLOW-3D를 이용하여 3차원 수치모의를 실시하였다.

핵심용어 : FLOW-3D, 유류-유사 분리기, 난류, 난류모형

1. 서 론

우수로 인해 발생한 유출수는 유류, 유사 및 쓰레기 등을 포함하고 있기 때문에 3차원적 거동을 하고 다양한 흐름특성을 갖는다. 유류-유사 분리기는 도심지의 지하구조물로서 이러한 유출수의 수질을 개선하여 하천이나 강으로 흘려보내는 기능을 갖는다. 하지만 3차원적 거동을 하고 다양한 흐름특성을 갖는 유입수를 정확히 해석하기가 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 정류판과 유류흡착기를 설치하여 유류와 유사를 포함하고 있는 유입수에 대한 거동을 해석하였다. 기존의 수리실험과 비교하였을 때 유류흡착기를 설치한 경우와 설치하지 않은 경우, 유류와 유사의 포착률(oil and grit trap)의 분명한 차이가 있음을 알 수 있다(Sturm 등, 2005). 유류-유사 분리기 내부 구조에 따른 유류와 유사의 포착률을 높이기 위한 수치모의의 기초적인 단계로서 유류-유사분리기 내에서 유류흡착기를 설치한 경우와 설치하지 않은 경우에 대한 유체의 흐름거동을 해석하였다. 그 결과, 유류흡착기를 설치한 경우엔 유입수에 포함된 유류와 유사의 분류활동이 좀 더 활발하게 일어남을 알 수 있었다. 이는 유류 흡착기에 의해 여과될 수 있는 유류와 유사에 대한 각각의 포획률이 높음을 의미한다. 따라서, 본 연구에서는 유류 및 유사의 포획률을 증가시키기 위해

* 정회원 · 한양대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail: moonguy@hanyang.ac.kr

** 한양대학교 토목공학과 박사 후 연구원 · E-mail: jeseon.yoo@hotmail.com

*** 정회원 · 교신저자 · 한양대학교 토목공학과 교수 · E-mail: ysc59@hanyang.ac.kr

서 유류흡착기를 설치하여 기존의 $k-$ 난류 모형을 이용한 결과와 LES(Large Eddy Simulation) 모형을 이용한 결과를 비교분석하여 난류모형에 따른 유류-유사 분리기내에서의 복잡한 흐름거동을 관심영역 AA-A'A'에서 비교 분석하였다.

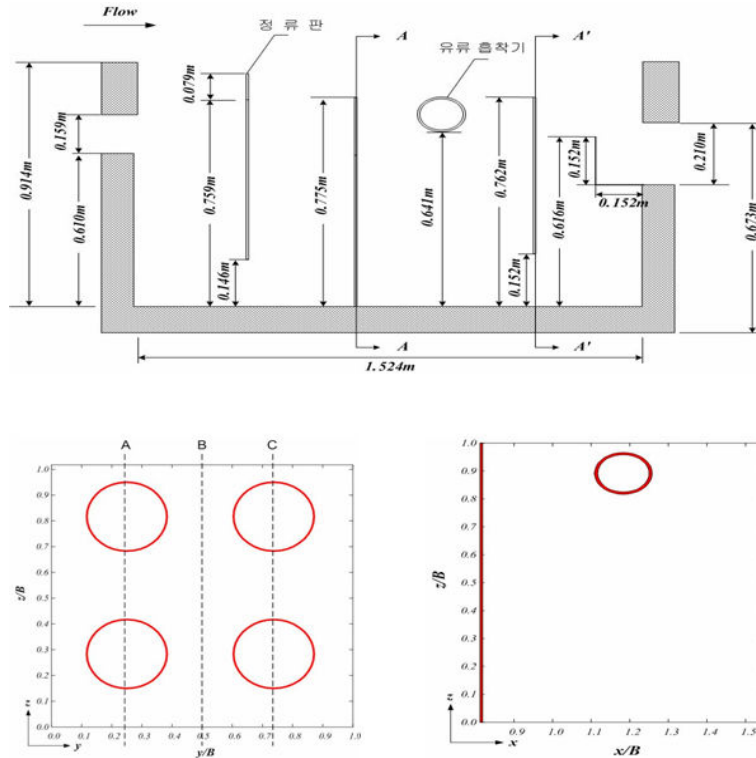


그림 1. 유류-유사분리기와 관심영역(AA-A'A')의 모식도

2. 수치모의 및 결과

본 연구에서는 FLOW-3D를 이용하여 수치모의를 실시하였다. 본 모형은 유류-유사 분리기 내의 복잡한 형상을 고려하여 물과 공기의 경계인 자유수면을 모델링하기 위해 VOF (volume of fluid)기법을 사용하였다. 난류모형으로 $k-$ 난류모형과 LES 모형을 사용하였고, 지배방정식은 유한체적법을 이용하여 이산화되며, 격자계의 구성시 격자망과 지형은 독립적으로 입력되는 FAVOR (Fractional Area and Volume Obstacle Representation)기법과 SOR (successive over-relaxation)법을 이용하여 압력항을 해석하였다.

유체의 흐름을 해석하기 위하여 FLOW-3D에서 사용하는 지배방정식은 다음과 같다. (Flow Science, 2002).

$$-\frac{\partial}{\partial x_i} u_i A_i = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \left(u_j A_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + G_i + f_i \quad (2)$$

여기서, 식 (1)은 직교좌표계(x, y, z)에서의 3차원 연속방정식이고 식 (2)는 Navier-Stokes 방

정식이다. u_i 는 i 방향에서의 평균속도를 의미하며 A_i 는 i 방향에서의 유체에서의 부분개방면적 (fractional open area) 이다. V_f 는 부분체적 (fractional volume), P 는 압력이며 G_i 는 중력 가속도 항을 의미한다. S_{ij} 는 다음과 같이 주어진 인장변형율을 의미한다.

$$S_{ii} = -2\mu_{tot} \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right], \quad S_{ij} = -\mu_{tot} \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (4)$$

μ_{tot} 는 전체 동점성 계수 (dynamic viscosity)이며 난류의 효과가 포함된 동점성과 와도점성의 합이다.

본 연구의 수치모의를 위한 격자수는 $k-$ 난류모형을 사용하였을 경우와 LES모형을 사용하였을 경우에 대해 $240 \times 160 \times 40$ 으로 동일하게 구성하였고 x, y, z 축은 모두 고정격자를 사용하였다. 또한 관심영역에 대해서는 가변격자를 고정격자와 조합하여 사용하였고, 수치모의를 위한 경계조건은 유입구와 유출구에서 모두 유속과 수심을 사용하였다. 유류-유사 분리기내의 흐름거동을 해석하기 위해 총 모의시간동안 x, y, z 방향의 유속을 계산하여 유류흡착기를 설치한 경우와 설치하지 않은 경우에 대해 비교하였다. 수치모의 결과의 비교는 유류와 유사의 포획률에 가장 큰 영향을 주는 단면(AA-A'A)에서 실시하였다. 그림 2는 횡방향(y 축)의 중앙을 따라 자른 $x-z$ 단면으로 AA단면과 A'A'단면 사이에서의 흐름거동을 모의한 결과이다. 그림 2a는 수치모형 실험의 결과이고, 그림 2b는 관심영역에서의 흐름거동을 $k-$ 난류모형을 이용한 수치모의 결과이며, 그림 2c는 LES모형을 이용한 수치모의 결과이다.

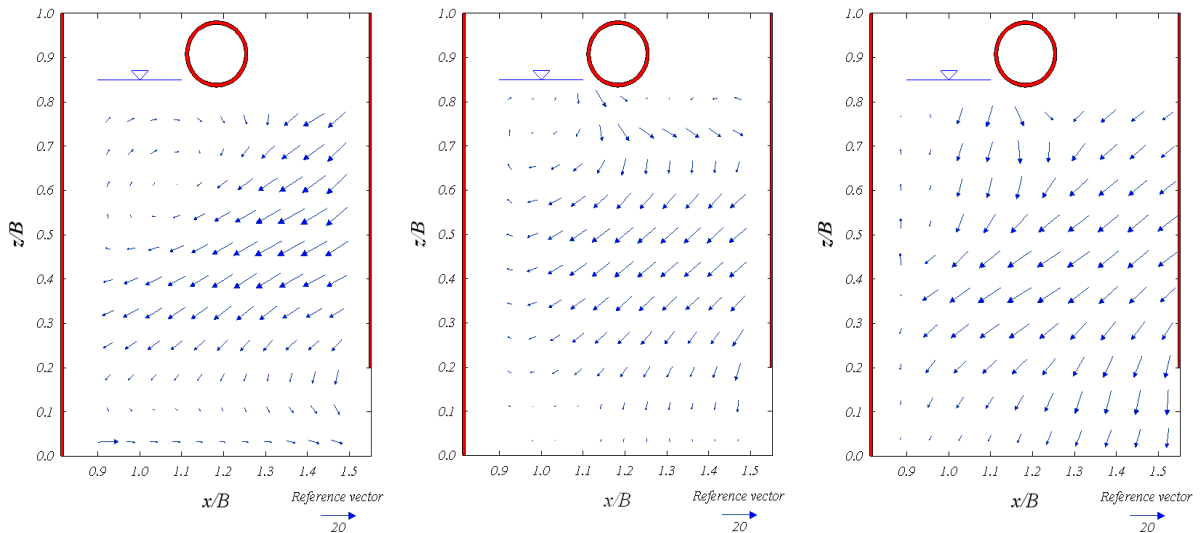


그림 2a.

그림 2b.

그림 2c.

그림 2. 유류-유사분리기 내부에서의 흐름해석(a: 수치모형실험결과, b: $k-$ 난류모형의 수치모의 결과, c: LES 모형의 수치모의 결과)

3. 결 론

k - 난류모형과 LES 모형을 이용하여 유류-유사 분리기 내부에서의 흐름거동을 수치모의 하였다. 그 결과를 살펴보면 두가지 방법 모두 유류흡착기가 설치된 부분부터 수면근처에서의 와 (eddy)가 발생하여 분리기내에서의 상하 좌우의 혼합활동이 활발히 일어나고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과로 인해 유사와 유류에 대한 포획률은 두가지 방법으로 해석할 경우 모두 증가될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 두가지 방법이 유속의 차이만 보일뿐 유속이 갖는 경향성은 실험결과와 비교하였을 때 매우 정확함을 알 수 있다. 따라서, 본 연구의 수치모의 결과에서 알 수 있듯이 유류-유사 분리기와 같은 작은 영역에서의 난류를 해석할 경우 k - 난류모형과 LES 모형 모두 비교적 정확히 해석할 수 있으며 그 결과는 크게 다르지 않음을 알 수 있다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부 해양수산연구개발사업(지진해일에 의한 동해 연안항 및 무역항 설계해면 산출)의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Flow Science, I. (2002). Flow-3D user's manual, 8th edition, Flow Science, Inc., Santa Fe, New Mexico.
2. Sturm, T. W., Costanza, J., and Pennell, K. (2005). Hydraulic Model Study of Oil/Grit Separator, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia.